

## ВИСОКОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

УДК 621.921.91.01

### ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИЛАДІВ

*Держук В.А., Севериненко О.Л., Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна*

*В даній роботі проведено обґрунтування одного з перспективних методів підвищення продуктивності виготовлення деталей приладів шляхом збільшення швидкості обробки. Також виявлений вплив різних факторів на даний процес виготовлення.*

#### **Вступ**

Підвищення продуктивності виготовлення деталей приладів при зберіганні достатньо високої точності та якості виготовлення – це загальна проблема виготовлення різних елементів приладів та всієї конструкції взагалі. Вона пов'язана з важливими науковими і практичними завданнями технології виготовлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми в машино- та приладобудуванні показані в роботах, які проведені в Німеччині та Франції [1, 2], Росії [3], Білорусії [4] і розпочалося на Україні [5].

Наукове обґрунтування і практичне використання високошвидкісних процесів обробки (ВШО) при виготовленні деталей приладів далеко від досконалості. Українські технологічні школи займаються вивченням ВПО недостатньо і не в повній мірі, тому дана робота є деяким доповненням прогалин цієї проблеми.

#### **Класифікація і розподіл швидкостей**

Деталі приладів виготовляються різними процесами механічної обробки. З математичного боку забезпечення максимальної продуктивності лезової обробки є задачею пошуку умовного екстремуму – знайти максимум (мінімум) деякої цільової функції при умовах (обмеженнях), котрі мають вигляд нерівності (або рівності), що з'єднують незалежні змінні (фактори),

$$\Pi = f(V \cdot S \cdot t) = \max$$

а також обробленої поверхні (або шлях різання)

$$F = V \cdot S \cdot T \text{ (або } L = VT)$$

якісно характеризує затрати на використаний різальний інструмент.

При цьому швидкість різання  $V$ , подача  $S$  і стійкість інструменту  $T$  пов'язані з іншими змінними і постійними величинами, які характеризують умови різання.

На підставі цих заключень було розроблено математичну модель максимальної продуктивності з урахуванням умов виготовлення деталей приладів.

Основним параметром інтенсифікації процесу виготовлення деталей є швидкість різання  $V$ , де використовуються різні діапазони швидкостей. Проведемо

класифікацію швидкостей різання в залежності від їх призначення (табл. 1).

Таблиця 1. Класифікація діапазонів швидкостей в залежності від їх призначень і величини науки які вивчають та використовують швидкість

Фізика	Авіація	Космонавтика	Астрономія	Обробка різанням
<u>Дозвукова</u> $V < 20000$ м/хв $V < 340$ м/с  <u>Звукова</u> $V = 20000$ м/хв $V = 340$ м/с  <u>Надзвукова</u> $V > 20000$ м/хв $V > 340$ м/с  <u>Світлова</u> $V = 300000$ км/с $V = 18 \cdot 10^9$ м/хв	<u>1. Цивільна</u> $V = 3230-13600$ м/хв  <u>2. Військова</u> - бомбардувальники (стратегічні, дальні, фронтові) ТУ-16 – $675$ км/год = $14800$ м/хв ТУ-16П – $1006$ км/год = $17100$ м/хв - винищувачі МІГ-29 – коло землі $1500$ км/год = $25500$ м/хв  в повітрі $2450$ км/год = $41500$ м/хв МІГ-31 – коло землі $1500$ км/год = $25600$ м/хв, в повітрі $3000$ км/год = $50400$ м/хв - штурмовики СУ-27 – коло землі $1400$ км/год = $23800$ м/хв, в повітрі $2450$ км/год = $41500$ м/хв МІГ-37 – коло землі $1400$ км/год = $23800$ м/хв, в повітрі $2300$ км/год = $39200$ м/хв  <u>3. Повітряно-космічні</u> - багаторазові повітряно-космічні апарати (БПКА) - ракетні прискорювачі “Спейс-шатл” (США), “Енергія-Буран” (СРСР)	<u>1 космічна</u> швидкість $8,3$ км/с = $500000$ м/хв (супутники – навколоземні польоти)  <u>2 космічна</u> $11,2$ км/с = $675000$ м/хв (міжпланетні польоти)	<u>Швидкість світла</u> $300000$ км/с = $18 \cdot 10^9$ м/хв Відстань вираховується в світлових роках	<u>1. Звичайні</u> умови різання до $600$ м/хв, для алюмінієвих сплавів до $1800$ м/хв  <u>2. Швидкісні</u> умови різання до $1800$ м/хв Верстати з підвищеною жорсткістю, потужністю, спеціальними шпиндельними вузлами, системами ЧПУ, частота обертання $n = 60000$ об/хв  <u>3. Балістичні</u> умови різання Установки для забезпечення руху різання де використовуються вибухові речовини (рушниці, ..., ракети), електромагнітні поля, прискорення вільного падіння (... установки великої висоти). Більш $10000$ м/хв

В таблиці проведена лінія граничних величин використання швидкостей рі-

зними науками, де швидкість визначається та використовується в практичних цілях. Можна зробити висновок, що види діапазонів та їх призначення різні, а процес механічної обробки сягає на сьогодні значних швидкісних діапазонів, що значно виплаває на продуктивність праці. Дотепер ще не відпрацьовані висновки щодо рівнів швидкостей де різання є надшвидкісним.

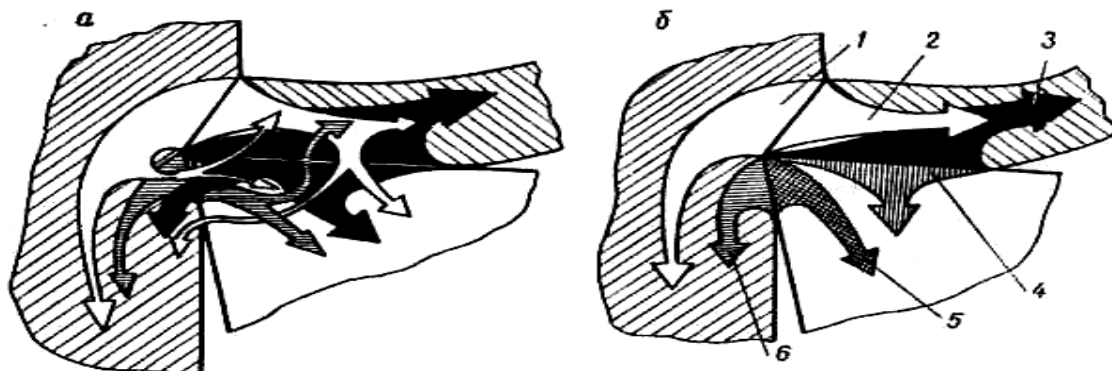
### Вплив надшвидкостей на характеристики процесу різання

Основним стримуючим параметром при запровадженні процесів швидкісного і надшвидкісного різання являється температурний фактор.

Теплові явища в зоні різання прямо впливають на:

- характер стружкоутворення;
- наростоутворення;
- усадку стружки;
- сили різання;
- мікроструктуру поверхневого шару;
- затуплення різального інструменту;
- період його стійкості та інше.

Практично в теплоту переходить вся робота різання (більше ніж 99,5%). Розподіл розповсюдження теплових потоків без урахування штучного охолодження інструмента і деталі наведено на рис. 1. Як видно, при різанні спостерігається складне переплетення теплових потоків.



1 – частка теплоти деформації  $Q_{\text{деф.д.}}$ , яка входить в деталь; 2 – частка теплоти деформації  $Q_{\text{деф.с.}}$ , яка входить в стружку; 3 – кількість тепла  $Q_{\text{т.п.}}$ , яке виділяється при терті між стружкою та передньою поверхнею інструменту; 4 – підсумковий потік теплоти  $Q_{\text{п.}}$ , який виникає в результаті теплообміну на площадці дотику над різцевою стороною стружки з передньою поверхнею інструменту; 5 – підсумковий потік теплоти  $Q_{\text{з.}}$ , який виникає в результаті теплообміну на площадці дотику поверхні різання із задньою поверхнею інструменту; 6 – кількість теплоти  $Q_{\text{т.з.}}$ , яка виникає в результаті тертя між деталлю і задньою поверхнею інструменту

Рисунок 1 - Схеми руху теплових потоків

Дану схему можна значно спростити, якщо ввести поняття підсумкових те-

плових потоків, що проходять через контактні площадки.

Рівняння балансу теплової і механічної енергії при різанні буде мати вид:

$$W_{т.п.п} + W_{деф} + W_{т.т.п} = Q_c + Q_i + Q_d + Q_{з.с},$$

де  $Q_c$ ,  $Q_i$ ,  $Q_d$ ,  $Q_{з.с}$  – кількість теплоти, яка переходить відповідно в стружку, інструмент, деталь і зовнішнє середовище.

Експериментальні дослідження доводять:

Швидкості невеликі

$$V=30\ldots40 \text{ м/хв}$$

$$Q_c \approx 60\ldots70\%$$

$$Q_i \approx 3\%$$

$$Q_d \approx 30\ldots40\%$$

$$Q_{з.с} \approx 1\ldots2\%$$

Швидкості великі

$$V=400\ldots500 \text{ м/хв}$$

$$Q_c \approx 97\ldots98\%$$

$$Q_i \approx 1\%$$

Використання технологічних середовищ дозволяє значно підвищити  $Q_{з.с}$  в загальному тепловому балансі. В залежності від умов підводу середовища відповідно зменшуються  $Q_c$ ,  $Q_i$  і  $Q_d$ .

Розподіл теплоти залежить від матеріалу. Чим нижча теплопровідність, тим більше теплоти входить в інструмент (табл. 2).

Таблиця 2 - Розподіл теплоти, яка переходить в стружку, деталь і інструмент при точінні різних матеріалів твердосплавним інструментом

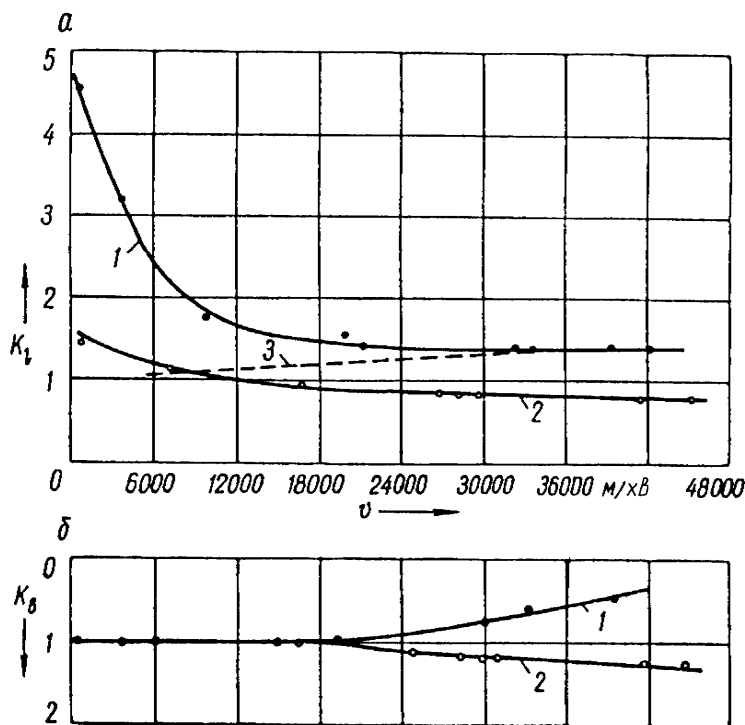
Оброблювальний матеріал	Режим різання	Кількість теплоти в %		
		$Q_c$	$Q_d$	$Q_i$
Алюміній	$V=100 \text{ м/хв}$ $S=0,12 \text{ мм/об}$ $t=1,5 \text{ мм}$	21	73	2,2
Чавун	$V=100 \text{ м/хв}$ $S=0,12 \text{ мм/об}$ $t=1,5 \text{ мм}$	42	50	1,5
Сталь 40Х	$V=100 \text{ м/хв}$ $S=0,12 \text{ мм/об}$ $t=1,5 \text{ мм}$	71	26	1,9
Сталь 45	$V=30 \text{ м/хв}$ $S=0,3 \text{ мм/об}$ $t=4 \text{ мм}$	69,2	27,4	3,4
Титановий сплав	$V=35 \text{ м/хв}$ $S=0,3 \text{ мм/об}$ $t=4 \text{ мм}$	73,4	16,8	9,8
Порошковий матеріал 20Х9-П	$V=100 \text{ м/хв}$ $S=0,08 \text{ мм/об}$ $t=0,1 \text{ мм}$	55	28	17*

\*Використовується різець із композиту 10 з теплопровідністю більшою, ніж у твердих сплавів.

При різанні з великими швидкостями  $V$  стружка переходить в елемент, а у випадку обробки загартованих сталей у порошковидну. Ця зміна стружки під-

тверджує приведені вище теоретичні положення про крихкість (якість) матеріалу. Стружкоутворення проходить в адіабатичних умовах і на нього впливає не тільки температурно-швидкісний фактор, як при звичайному різанні, а часовий. Він визначає час дії температури, швидкість нагріву, температурний градієнт і інші показники, які характеризують фізичні особливості надшвидкісного різання.

Коефіцієнт укорочення та уширення стружки (рис. 2) для більшості оброблювальних матеріалів значно менше ніж при звичайному різанні. В окремих випадках він може бути менше одиниці при одночасному зменшенні ширини стружки. Кут зсуву більше звичайного, сягає  $60^\circ$ .



Такий характер стружкоутворення обумовлений особливостями умов тертя на передній поверхні, динамічних фізико-механічних властивостей оброблювального матеріалу і протікання мікро деформацій.

1 – алюміній,  $\gamma = -15^\circ$ ; 2 – алюміній,  $\gamma = 45^\circ$ ; 3 – сталь,  $\gamma = 0^\circ$ .

Рисунок 2 - Залежність коефіцієнтів укорочення  $K_l$  (а) і уширення  $K_b$  (б) стружки від швидкості різання

Зміна сил різання зі збільшенням швидкості залежить від властивостей оброблювального матеріалу і рівня інерційних сил стружки. В умовах звичайного різання ці сили є незмінними, при надшвидкісному – складають до 30...50% від  $P_z$ . Для розрахунків використовується формула:

$$P_z = \rho \cdot V^2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \gamma \cos (\beta - \gamma),$$

де  $\rho$  – густина оброблювального матеріалу;

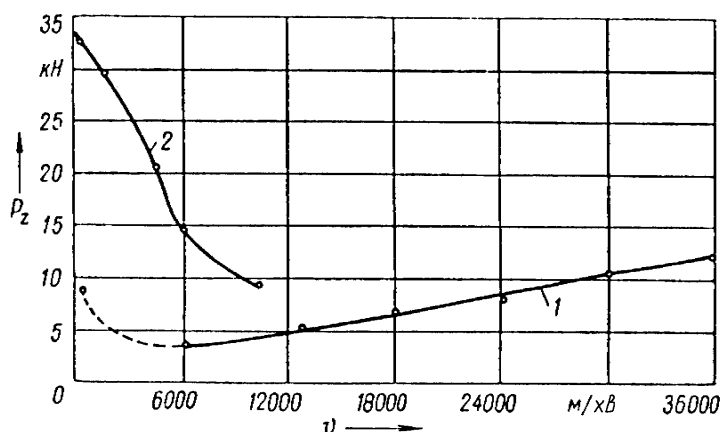
$a, b$  – товщина і ширина зрізу;

$\beta$  – кут зсуву;

$\gamma$  – передній кут;

$V$  – швидкість різання.

Наведені на рис. 3 залежності  $P_z = f(V)$  підтверджують думку про те, що для більш міцних матеріалів мінімум сили буде зменшуватись в сторону великих швидкостей, тому що в цьому випадку більше рівень сил різання і інерційна складова розпочинає виявлятися при більш високих швидкостях.

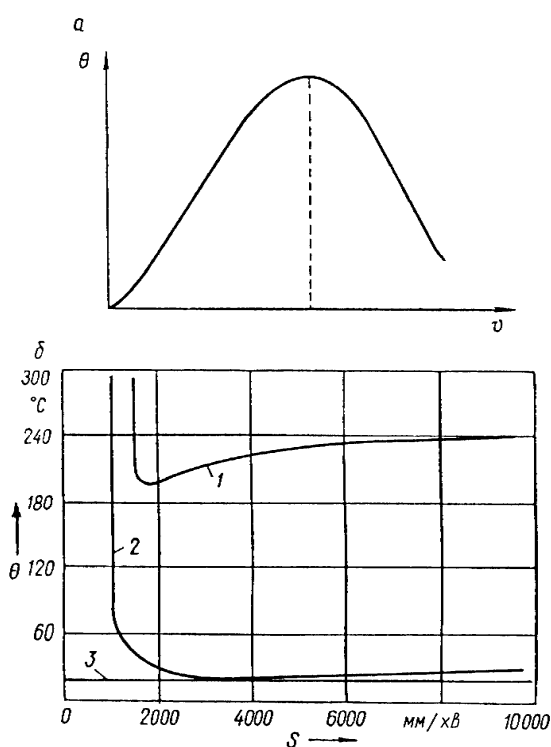


Специфіка механізму зношення інструменту пов'язана з високими температурами на площадках дотику і малим часом контактування.

1 – при різанні алюмінію; 2 – Ст 45

Рисунок 3 - Залежність сили різання від швидкості

Відсутність наросту і застійної зони, зміцнення металу в зоні пластичного контакту підвищує інтенсивність адгезійних і дифузійних процесів, виникає інтенсивне значне зношення контактних площадок близько до ріжучої кромки. Інтенсивність зношення при звичайних і надшвидкісних (більших в 300 разів) швидкостях при других рівних умовах може бути приблизно однаковою або декілька більш високою в останньому випадку.



Залежність  $\theta=f(v)$  має перегин (рис. 4а), положення якого визначається властивостями оброблювального матеріалу і умовами обробки. Після вибору діапазону  $V$  де більш низька теплота різання проводиться процес обробки поверхні. На рис. 4б визначені температурні залежності при фрезеруванні при підвищених швидкостях різання.

1 – температура стружки при фрезеруванні; 2 – температура заготовки; 3 – кімнатна температура

Рисунок 4 - Вплив швидкості різання на температуру

Для реалізації процесу надшвидкісного різання необхідно підвищувати потужність верстату. Це доводить вираз:  $N_e = (P_z \cdot V) / (60 \cdot 120)$  (кВт). Так, по даним фірми "Локхід" (США), при обробці сталей 45 при  $t=45$  мм;  $S=0,3$  мм/об;  $V=120$  м/хв потужність різання  $N_e=6,47$  кВт, а при  $V=1000$  м/хв –  $N_e=161$  кВт.

## Висновки

З розглянутих особливостей високошвидкісних процесів обробки впливає, що в даній роботі було зроблено наступне:

- створено класифікацію та розподіл діапазонів швидкостей в залежності від їх призначення та галузі науки, що вивчає та використовує швидкість;
- обґрунтовані процеси високошвидкісної обробки на основі аналізу їх фізико-механічних особливостей;
- розглянутий вплив всіх параметрів на продуктивність, температуру, зношення інструменту та інше.

Продуктивність обробки в зв'язку з підвищенням рівня швидкостей різання значно зростає, це може досягати в 3...10 разів. Велика швидкість робить надшвидкісне різання економічно ефективним, особливо при обробці спеціальних матеріалів та деталей. Зростанням темпів виробництва за останні роки в Україні дає привід для подальших розглядів цього перспективного напрямку.

### **Література**

1. Kronenberg M. Gredanken zur Theorie und Praxis der Ultra – Schnellspannung // Tech. Zbl. Prekt Mezallbearb. – 1961. – Bd. 56 – №8 – S. 443 – 446.
2. Kronenberg M. Zweiter Bericht über Vervielfachung heute üblicher Schnittgeschwindigkeiten – Werkstattstechnik. – 1961. – Bd. 51 – №3 – S. 141.
3. Полосаткин Г. Д., Караваева В. Л. Резание металлов сверхвысокими скоростями // Обработка жаропрочных и титановых сплавов. – Куйбышев. -1962. – С. 95 – 103 с.
4. Ящерицин П. И., Еременко М. Л., Фельдштейн Е. Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. – Минск: Высшая школа, 1990. – 512 с.
5. Держук В.А., Діордіца І.Н., Глоба А.В., Пінковський Н.В., Майданюк С.В., Пливак С.В. Аналіз фізических явлений происходящих при высокоскоростной обработке // Вісник Українського державного технологічного університету. – 2002. -№2. – С. 68 – 73.

**Держук В.А., Севериненко О.Л. Повышение производительности изготовления деталей.**  
В данной работе проведены обоснования одного из перспективных методов повышения производительности изготовления деталей приборов путем увеличения скорости обработки. Также выявлено влияние разных факторов на данный процесс изготовления.

**Derguk V.A., Severinenko O.L. The increase productivity of the details instruments processing**  
In the given activity the substantiations of one of perspective methods of a raising the productivity of manufacturing of parts of devices are conducted by increase of processing speed. Also influencing of the miscellaneous factors on the given process of manufacturing are detected.

*Надійшла до редакції  
24 січня 2003 року*

УДК 621.793

## **ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕПЛА В ЗАГОТІВЦІ ПРИ НАДШВИДКІСНОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ**

*Усачов П.А., Іваненко Н.В., Національний технічний університет України “Київський політехнічний Інститут”, м. Київ, Україна*

*У статті розглядається новий підхід до рішення проблеми прогнозу розподілу тепла в перетинах заготовки при надшвидкісному фрезеруванні.*